

УДК 550.34

МОНИТОРИНГ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ В 2004 ГОДУ

**С.Л. Сенюков, С.Я. Дрознина, В.Т. Гарбузова, И.Н. Нуждина, Т.Ю. Кожевникова,
С.Л. Толочкова**

Камчатский Филиал Геофизической Службы Российской Академии Наук, (КФ ГС РАН), Петропавловск-Камчатский, 683006, e-mail: ssl@emsd.ru

КФ ГС РАН проводит мониторинг активности вулканов Камчатки в режиме, близком к реальному времени, с 2000 г. Исследования ведутся по трем направлениям: 1) сейсмический мониторинг; 2) визуальные и видео наблюдения; 3) спутниковый мониторинг. Подробно об этих исследованиях можно ознакомиться в работе [1].

Ежедневная работа по сбору, обработке и представлению информации об активности вулканов позволяет своевременно и корректно оценивать их состояние и делать выводы о вулканической опасности. Срочная информация о вулканической опасности передавалась по электронной почте или телефонам в штаб ГО и ЧС Камчатской области, АВО (Аляскинскую Вулканологическую Обсерваторию), КВЕРТ (Камчатскую Группу Реагирования на Вулканические Извержения), Метеоцентр Елизовского аэропорта, Центры слежения за пепловыми облаками в Токио и Анкоридже.

Вулкан Ключевской - координаты вершины: $56^{\circ}04'$ с.ш., $160^{\circ}38'$ в.д. Абсолютная высота вулкана - 4750 м. Диаметр вершинного кратера, венчающего конус - около 700 м. Ближайшая телеметрическая станция «LGN» расположена в 4 км от кратера. Минимальный уровень регистрируемой сейсмичности по одной ближайшей станции соответствует классу землетрясений 2.2. Сеть позволяет при благоприятных условиях регистрировать землетрясения с минимальным классом 4.0, а уровень надежной регистрации соответствует классу 4.5. В 2004 г. были определены параметры для ~ 6650 землетрясений с классом выше 4.0. Карта эпицентров, разрез и графики сейсмической активности представлены на рис. 1.

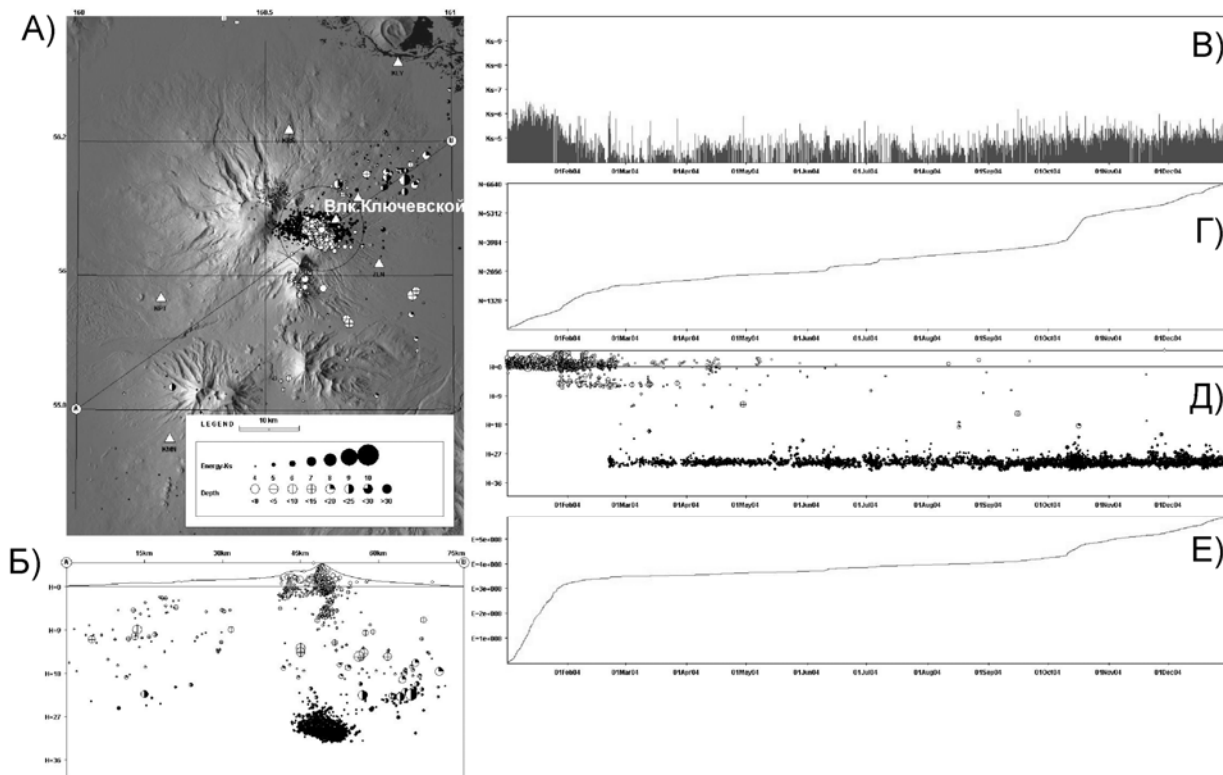


Рис. 1. Сейсмичность района вулкана Ключевской в 2004 г. А - карта эпицентров; Б - разрез вдоль линии А-В; графики распределения во времени различных параметров землетрясений, выделенных окружностью на карте (А): В - энергетический класс по S-волне; Г - кумулятивное количество землетрясений; Д - глубина гипоцентров; Е - кумулятивная энергия.

Но так как существующая сеть не в состоянии отразить сейсмичность на вулканах в полном объеме, большую роль в регистрации сейсмичности играет традиционная обработка по одной, ближайшей к вулкану станции. Такая обработка землетрясений с разбиением по типам [2] выполняется для вулканов Ключевской, Шивелуч, Безымянный и Толбачик, ответственный - В.Т. Гарбузова. Эта информация доступна в Интернете по адресу: <http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>, в разделе «Землетрясения».

В январе-феврале 2004 г. на вулкане Ключевской регистрировались поверхностные землетрясения и вулканическое дрожание (рис. 2). Также в этот период времени фиксировалась термальная аномалия по спутниковым данным, что свидетельствовало о присутствии магмы в центральном кратере (рис. 3).

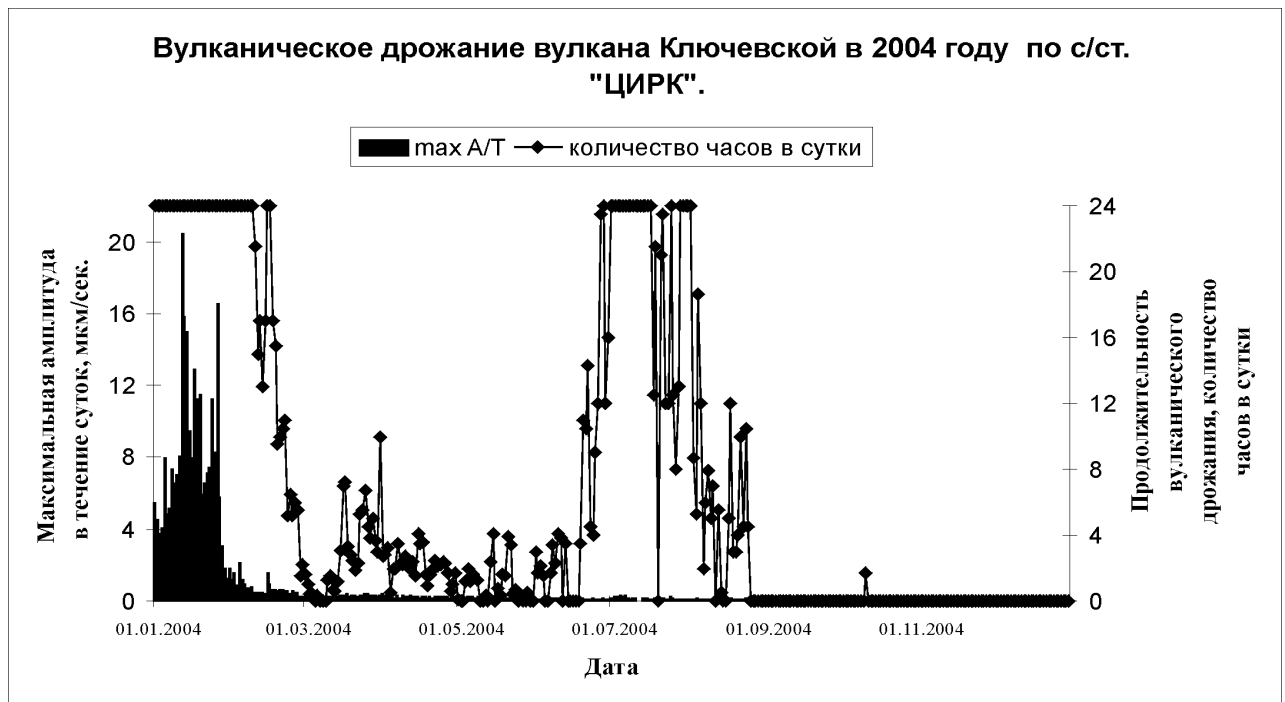


Рис. 2. Графики амплитуды и продолжительности вулканического дрожания вулкана Ключевской в 2004 году.



Рис. 3. График изменения размеров термальной аномалии на вулкане Ключевской в 2004 г. Данные Аляскинской вулканологической обсерватории и лаборатории ИСВА КФ ГС РАН. Снимки со спутников NOAA16 и NOAA17 предоставлены КЦСМ.

В январе на вулкане происходили пепловые выбросы, которые были зафиксированы по визуальным и видео данным. Обычно пепловые выбросы были кратковременные (несколько минут) и слабонагруженные пеплом. Максимально зарегистрированная высота выбросов - 1000 м над кратером. К сожалению, пока не выявлен алгоритм выделения пепловых выбросов Ключевского вулкана по сейсмическим данным, поэтому нет данных о пепловых выбросах в ночное время, или когда вулкан был закрыт облаками. Начиная с конца января, в течение февраля-марта количество поверхностных землетрясений стало постепенно уменьшаться. Появились землетрясения с промежуточной глубины 5-15 км, а впоследствии и более глубокие, с глубины около 30 км. Все это свидетельствовало о постепенном отступлении магмы и прекращении вулканической активности.

Начиная с середины мая и до конца года в районе вулкана Ключевской фиксировались практически только землетрясения с глубины около 30 км. Вулкан был спокоен.

Вулкан Безымянный - координаты вершины: 55°58' с.ш., 160°35' в.д. Абсолютная высота вулкана 2869 м. Ближайшие телеметрические станции «LGN» и «ZLN» расположены в 13.5 км от кратера вулкана (рис. 4). Минимальный уровень регистрируемой сейсмичности по ближайшим станциям соответствует классу землетрясений 3.6. Уровень надежной регистрации по трем станциям соответствует классу землетрясений 4.5. В течение исследуемого периода времени вулкан Безымянный извергался два раза. На снимках со спутников NOAA16 и NOAA17, предоставляемых Камчатским Центром Связи и Мониторинга, обработка данных - лаборатория ИСВА КФ ГС РАН, наличие на вулкане постоянной термальной аномалии свидетельствует о том, что горячий материал находится близко к поверхности, и вулкан может начать извергаться без сильной предварительной сейсмической подготовки.

В январе 2004 г. удалось зафиксировать только одно землетрясение 6.0 класса (9 января) перед извержением вулкана (рис. 4).

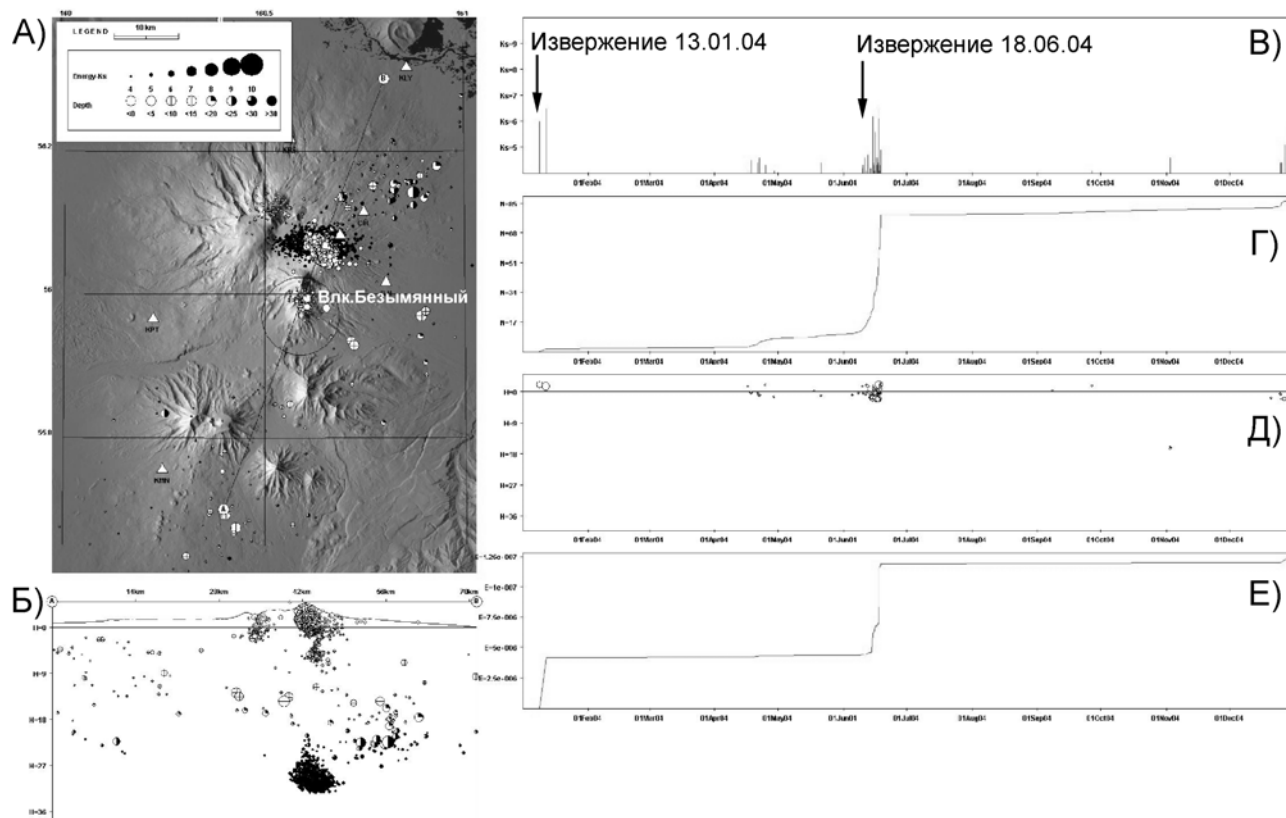


Рис. 4. Сейсмичность района вулкана Безымянный в 2004 г. А) карта эпицентров; Б) разрез вдоль линии А-В; графики распределения во времени различных параметров землетрясений, выделенных глубиной на карте (А): В) энергетический класс по S-волне; Г) кумулятивное количество землетрясений; Д) глубина гипоцентров; Е) кумулятивная энергия.

Более слабые землетрясения невозможно было обработать из-за сильного вулканического дрожания Ключевского вулкана. Это связано с тем, что ближайшие к вулкану Безымянный телеметрические станции расположены на склоне вулкана Ключевской. По данным сейсмического мониторинга извержение началось 13 января в 22:53 Гринвичского времени и продолжалось несколько часов. По данным видеонаблюдений с 22:55 на вулкане регистрировались газо-пепловые выбросы на высоту до 6000 м над уровнем моря и пепловый шлейф, который распространялся на северо-восток. По спутниковым данным удалось проследить распространение пеплового облака на восток (рис. 5).

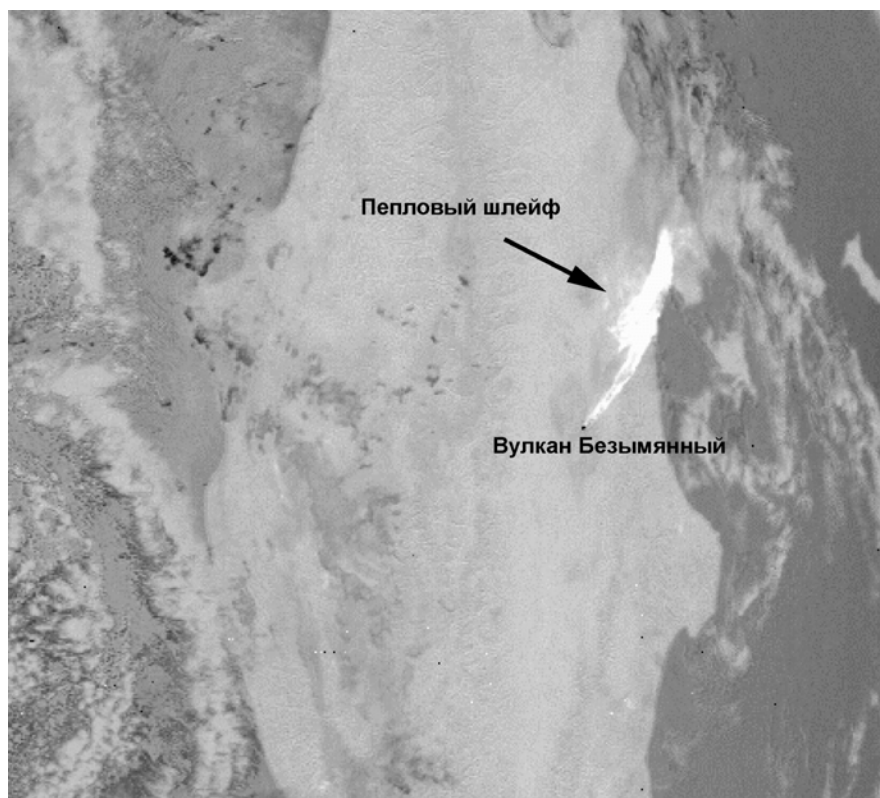


Рис. 5. Спутниковый снимок NOAA17 (band 4-5, 14 января 01:22 Гринвичского времени) с пепловым шлейфом (белого цвета) от извержения вулкана Безымянный. Данные предоставлены Камчатским Центром Связи и Мониторинга, обработка – лаборатория ИСВА КФ ГС РАН.

Второе извержение произошло в июне 2004 г. К этому времени вулкан Ключевской успокоился, и вулканическое дрожание этого вулкана не помешало зарегистрировать сейсмическую подготовку перед летним извержением Безымянного (рис. 4). Сейсмическая активность превысила фоновый уровень 2 июня 2004 г, о чем было дано предупреждение. И в дальнейшем наблюдалось постепенное увеличение количества и энергии поверхностных землетрясений. За три дня до извержения (15 июня) стало наблюдаться резкое увеличение количества сейсмических сигналов, которые могли сопровождать сход лавин. На основании этих данных был дан прогноз о времени возможного извержения в течение ближайших 5 дней, который впоследствии оправдался. По сейсмическим данным, извержение произошло 18 июня с 19:40 до 20:20 Гринвичского времени. По визуальным данным вулкан открылся в 20:30, и на вулкане наблюдались газо-пепловые выбросы высотой до 8000 м над уровнем моря.

Спутниковые данные позволили проследить распространение пеплового облака на расстояние более 2000 км в восточном направлении (рис. 6). Заметного роста термальной аномалии перед обоими извержениями зафиксировано не было.

Шивелуч - самый северный действующий вулкан Камчатки. Координаты активного кратера: 56°38' с.ш., 161°19' в.д. Абсолютная высота нового купола около 2500 м. Вулкан находится в 45 км к северо-востоку от г. Ключи. Ближайшая телеметрическая станция (SVL) расположена в 8.5 км от активного кратера вулкана. Минимальный уровень регистрируемой сейсмичности по одной станции соответствует классу землетрясений 3.1. Уровень надежной регистрации по трем станциям соответствует классу землетрясений 5.5. На рис. 7 представлены: карта эпицентров, разрез и графики сейсмической активности для землетрясений вулкана Шивелуч. В 2004 г. на вулкане Шивелуч наблюдалась интенсивная вулканическая деятельность, связанная с продолжением роста нового купола, появление которого впервые было отмечено 12 мая 2001 г. Рост нового купола сопровождался высокой сейсмической активностью (рис. 7). После некоторой паузы в конце 2003 г. сейсмическая активность вулкана значительно выросла в январе 2004 г и в дальнейшем носила пульсирующий характер. Наибольшая активность наблюдалась в январе и в мае 2004 г.

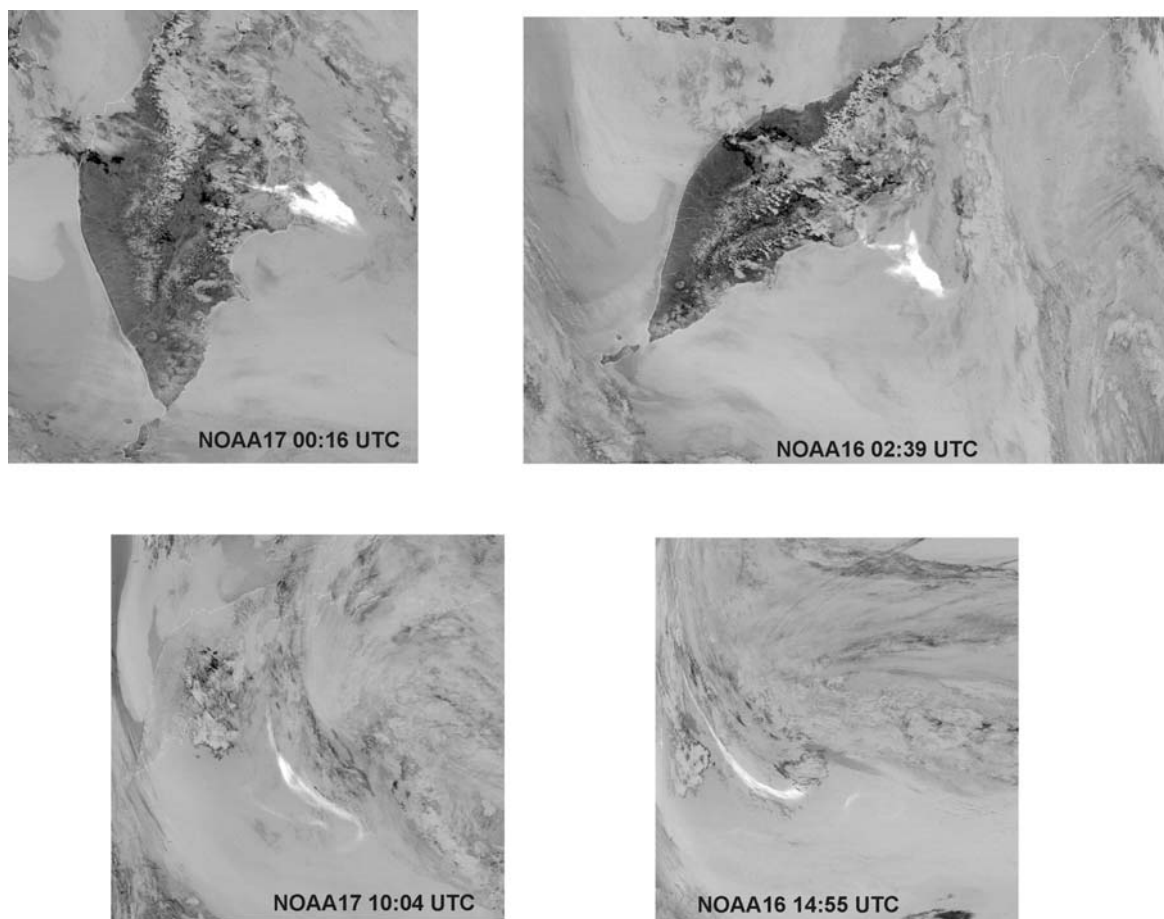


Рис. 6. Распространение пеплового облака от извержения вулкана Безымянный 18 июня 2004 г. (все снимки за 19 июня). Данные предоставлены Камчатским Центром Связи и Мониторинга, обработка – лаборатория ИСВА КФ ГС РАН.

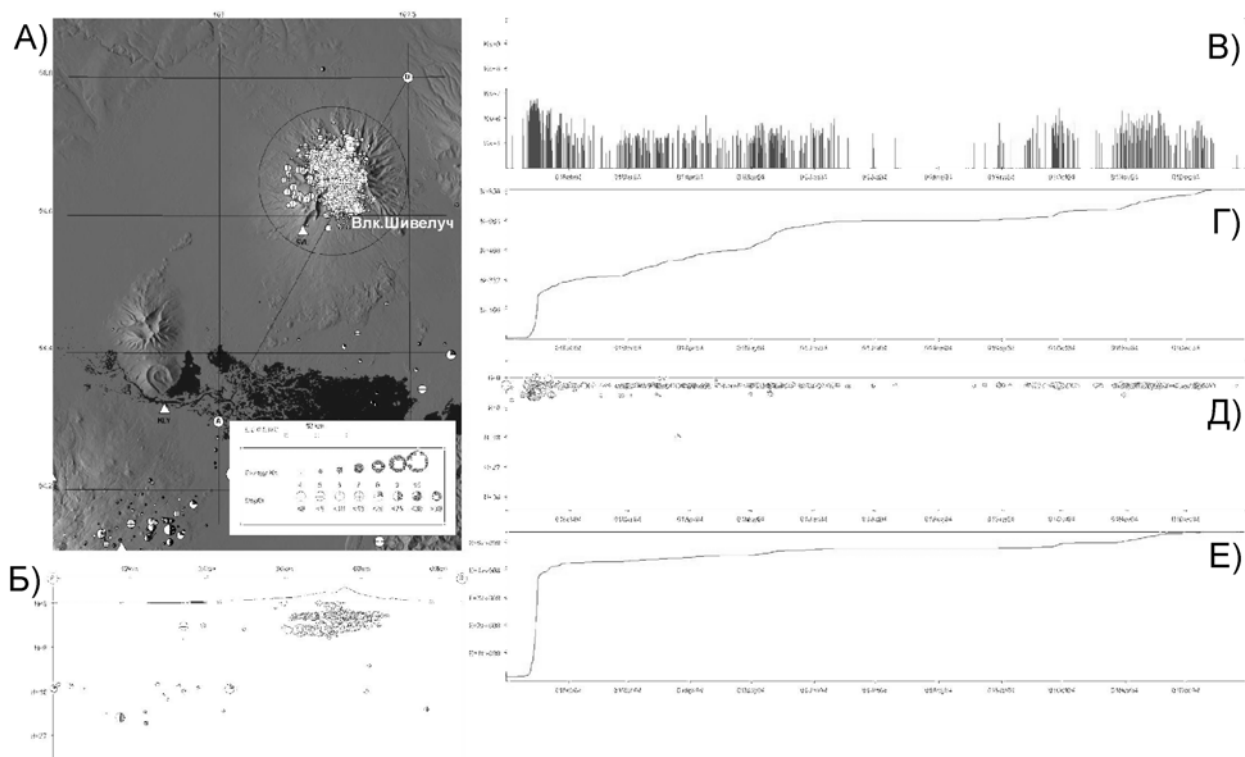


Рис. 7. Сейсмичность района вулкана Шивелуч в 2004 г. А - карта эпицентров; Б - разрез вдоль линии А-В; графики распределения во времени различных параметров землетрясений, выделенных окружностью на карте (А): В - энергетический класс по S-волне; Г - кумулятивное количество землетрясений; Д - глубина гипоцентров; Е - кумулятивная энергия.

В течение всего года наблюдалась термальная аномалия, свидетельствующая о постоянном выходе на поверхность горячего магматического материала (рис. 8).

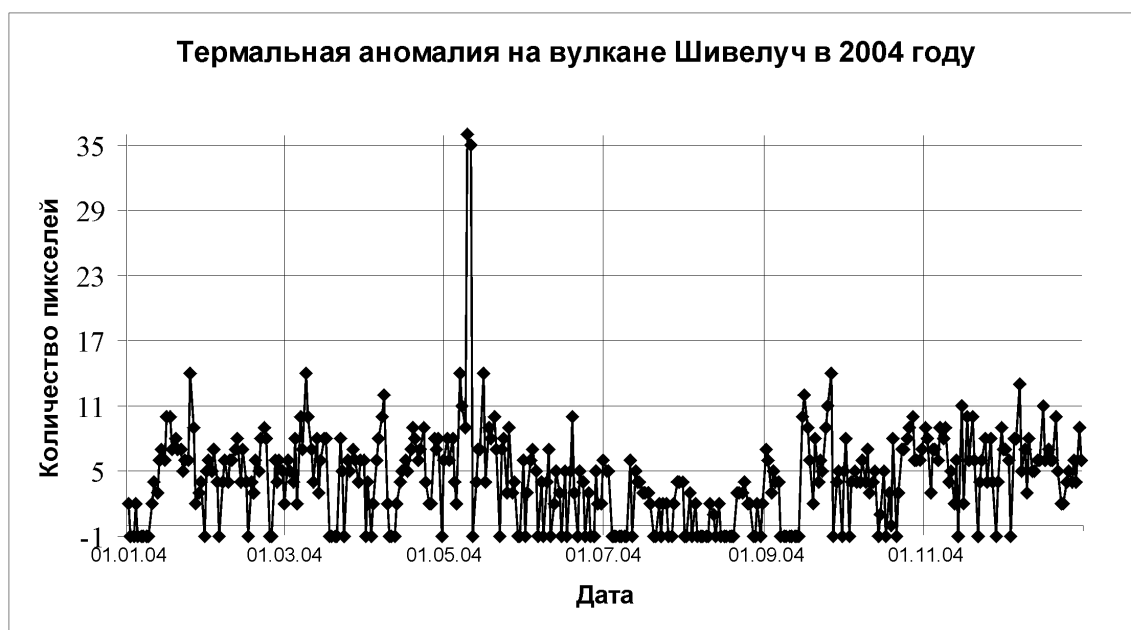


Рис. 8. Термальная аномалия на вулкане Шивелуч в 2004 г. Величина «-1» означает отсутствие снимков или вулкан закрыт. Данные Аляскинской вулканологической обсерватории и лаборатории ИСВА КФ ГС РАН. Снимки со спутников NOAA16 и NOAA17 предоставлены КЦСМ.

Данные о вулканическом дрожании представлены на рис. 9. На рис. 10 представлены данные о газо-пепловых выбросах.

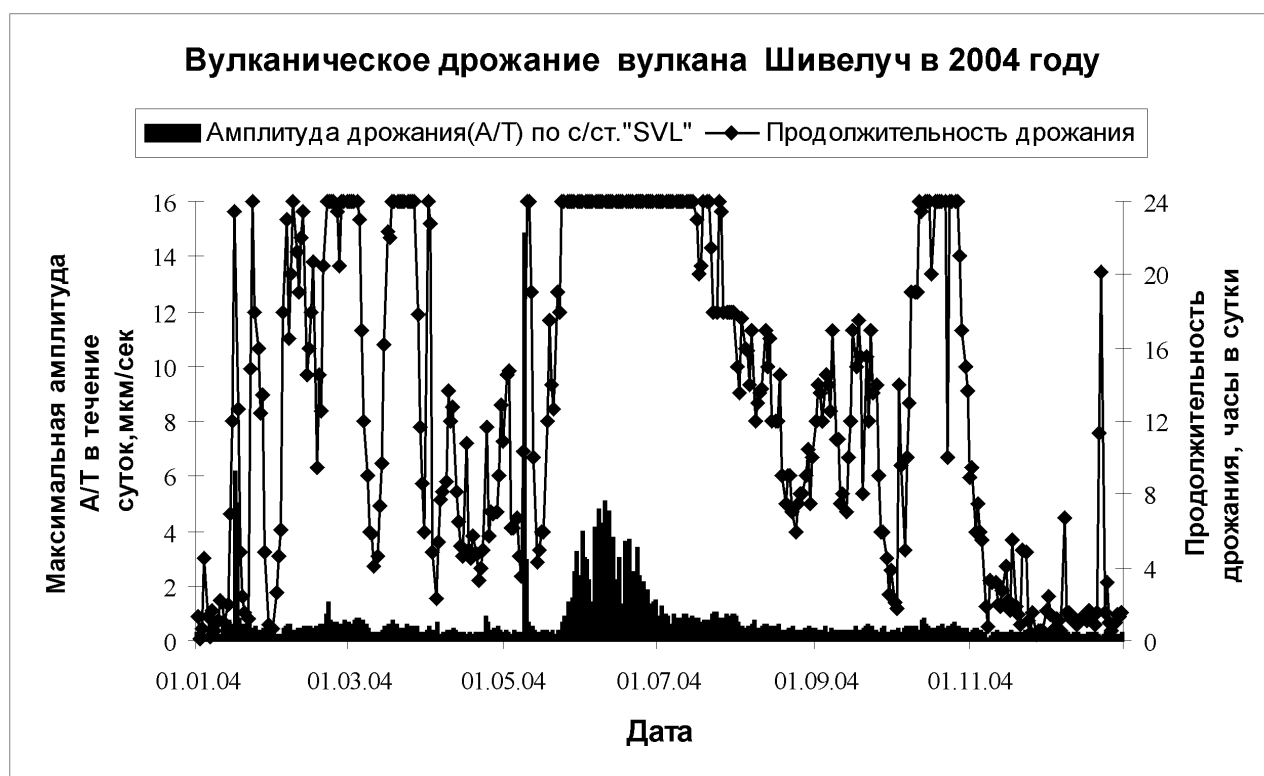


Рис. 9. Вулканическое дрожание вулкана Шивелуч в 2004 г.

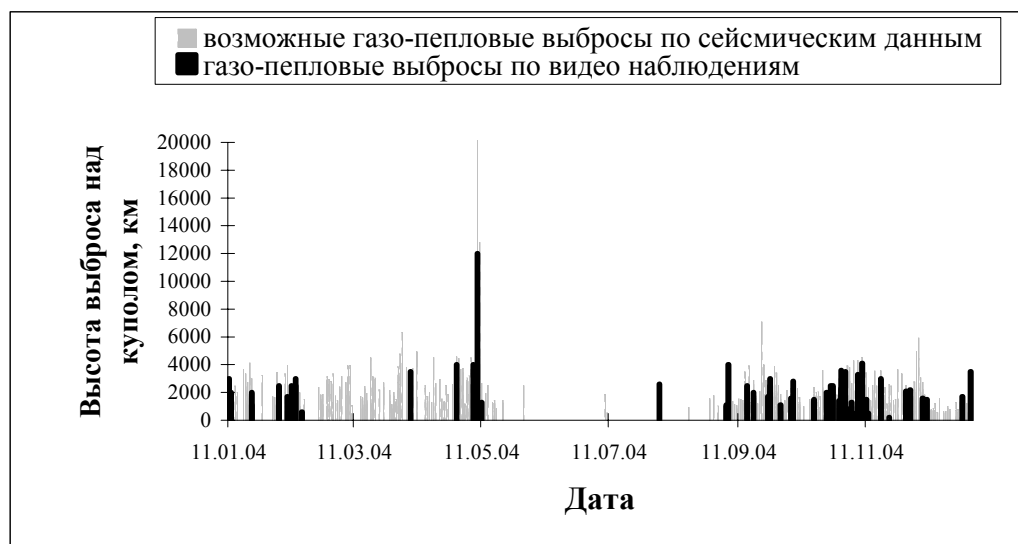


Рис. 10. Газо-пепловые выбросы вулкана Шивелуч в 2004 г.

При отсутствии видимости предположение о возможности газо-пеплового выброса делалось на основании изучения спектральных особенностей сейсмического сигнала, а возможная высота выброса определялась по амплитуде и продолжительности сейсмического сигнала с использованием базы эталонов сигналов. Самым значительным вулканическим событием по сейсмическим данным была зарегистрированная 9 мая 2004 г. с 13:10 до 20:10 Гринвичского времени серия поверхностных сейсмических событий с амплитудой до 15 мкм/сек, вероятно, сопровождавшая мощную парогазовую эмиссию до 8000-10000 м над уровнем моря с отдельными пепловыми выбросами. По данным видео наблюдений до 16:30 было темное время суток. А с 16:30 до 22:40 наблюдалась парогазовая эмиссия с отдельными пепловыми выбросами до 7500 м над куполом. Также наблюдалось парение у подножия склона вулкана, что свидетельствовало о возможном сходе грязевых потоков. По спутниковым данным удалось проследить распространение пеплового облака на восток на расстояние более 300 км (рис. 11).

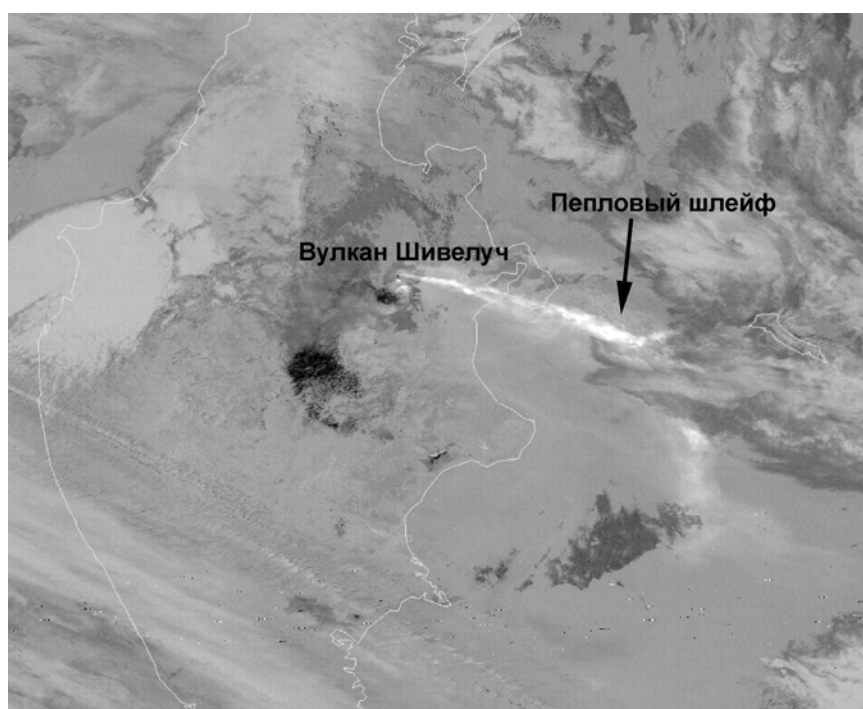


Рис. 11. Спутниковый снимок NOAA17 (band4-5, 10 мая 00:26 Гринвичского времени) с пепловым шлейфом (белового цвета) от извержения вулкана Шивелуч. Данные предоставлены Камчатским Центром Связи и Мониторинга, обработка - лаборатория ИСВА КФ ГС РАН.

Плоский Толбачик - координаты вершины: 55°49'с.ш., 160°22'в.д. Абсолютная высота вулкана - 3085 м. Ближайшая телеметрическая станция «КМН» расположена в 10 км от кратера вулкана. Минимальный уровень регистрируемой сейсмичности по ближайшей станции соответствует классу землетрясений 3.3. Уровень надежной регистрации по трем станциям соответствует классу землетрясений 5.0. В 2004 г. в районе вулкана Плоский Толбачик наблюдалась фоновая сейсмичность. Продолжала наблюдаться термальная аномалия в районе Северного прорыва БТТИ 1975-76 гг. по данным инфракрасных снимков со спутников NOAA16 и NOAA17.

Карымский - координаты вершины: 54°03' с.ш., 159°26' в.д. Абсолютная высота вулкана - 1536 м, диаметр кратера - около 250м. Ближайшая телеметрическая станция «KRY» расположена на юго-восточном склоне в 1.5 км от кратера, что обеспечивает уровень регистрации по одной станции землетрясений класса 1.0 и выше. Но другие телеметрические станции расположены на расстоянии свыше 100 км и могут обеспечить надежное определение параметров землетрясений по трем станциям с занесением в базу только с класса 6.5. В радиусе 10 км от вулкана было зарегистрировано только несколько землетрясений. Все основные выводы о деятельности вулкана были сделаны по данным только одной станции «KRY».

В исследуемый период вулкан Карымский продолжал извергаться. На рис. 12 представлено количество локальных ($2 < K_s < 6$) поверхностных землетрясений, большинство из которых - это взрывы в кратере. График наглядно представляет периоды усиления и ослабления активности вулкана. Также фиксировались сейсмические события, обычно сопровождавшие пепловые выбросы высотой от 500 м до 2000 м над кратером. Несколько раз в течение исследуемого периода наблюдались короткие паузы затишья (1-2 дня), после которых обычно следовали более мощные пепловые выбросы высотой до 4-5 км над кратером (рис. 12).

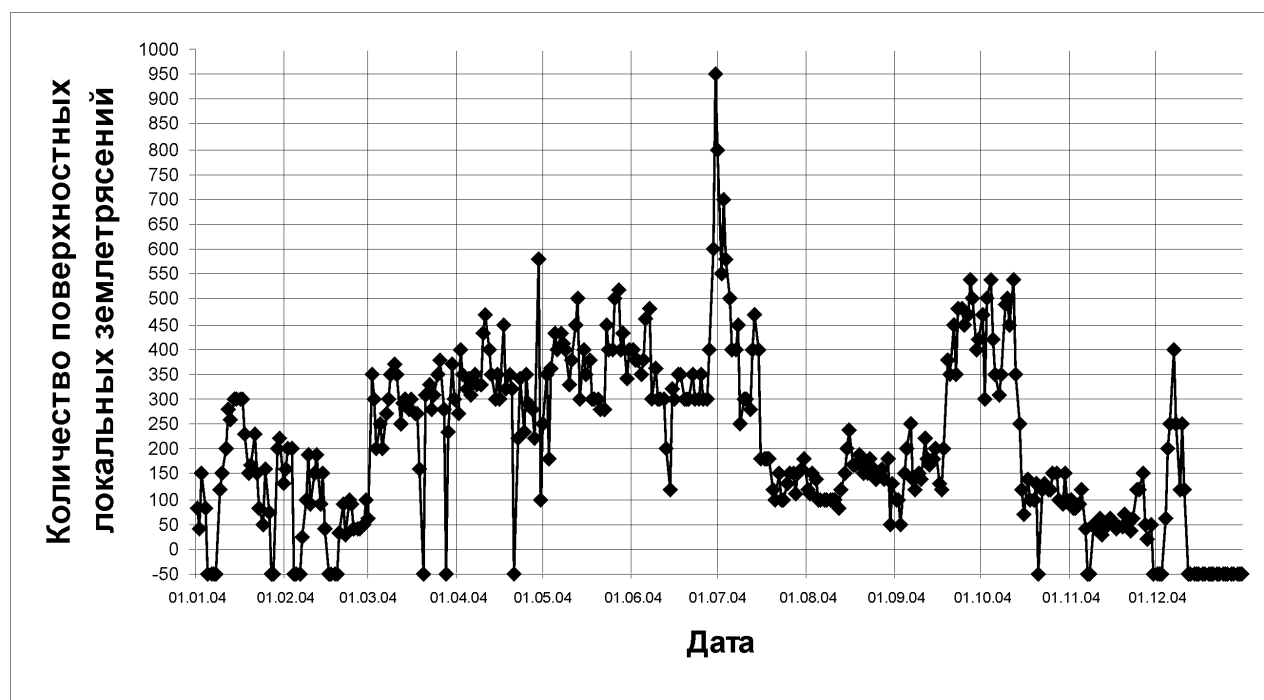


Рис. 12. Сейсмичность вулкана Карымский в 2004 г. по данным сеймостанции «KRY». Значение «-50» означает отсутствие данных.

Иногда самые большие пепловые выбросы вулкана удавалось зафиксировать на спутниковых снимках (рис. 13).

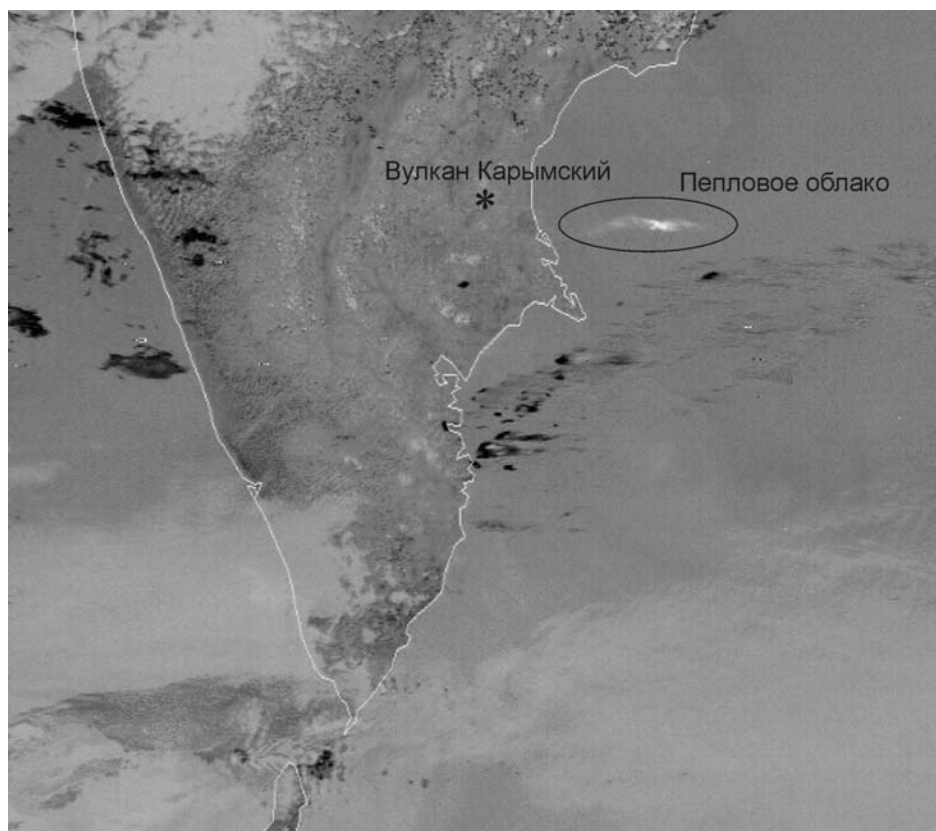


Рис. 13. Спутниковый снимок NOAA17 (band4-5, 6 сентября 2004 г, 00:20 Гринвичского времени) с пепловым облаком от извержения вулкана Карымский. Данные со спутника NOAA17 предоставлены КЦСМ, обработка - лаборатория ИСВА КФ ГС РАН.

На рис. 14 представлены данные о термальной аномалии на вулкане Карымский в 2004 г.

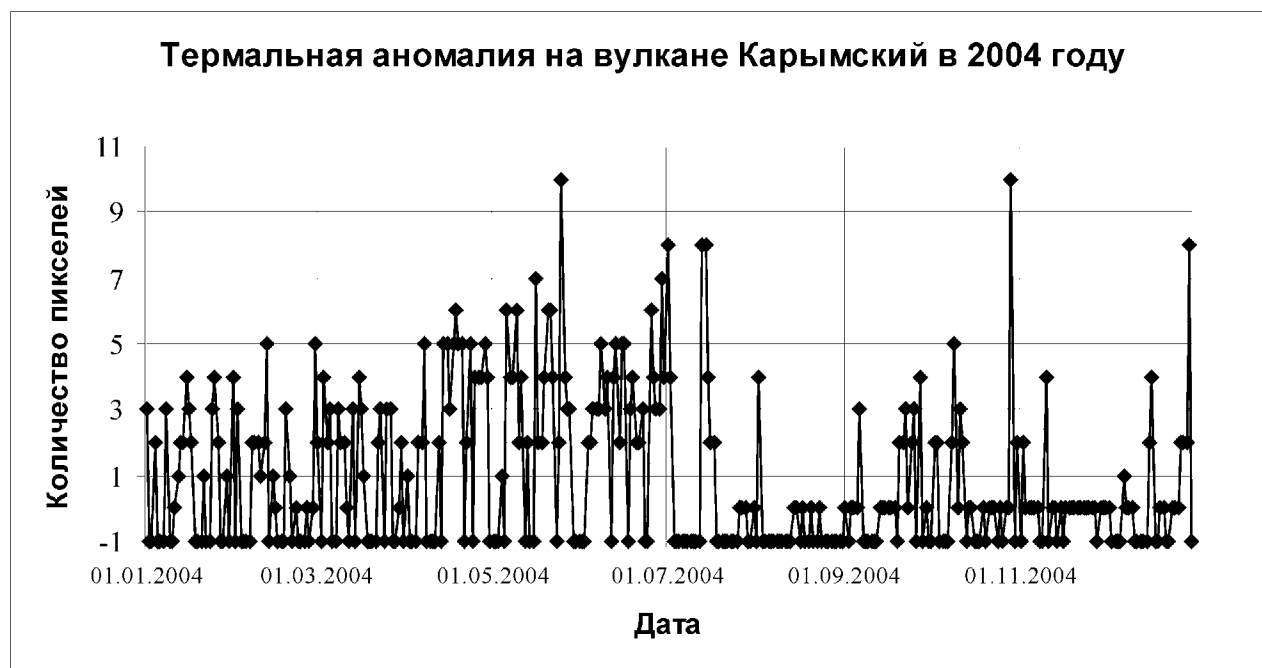


Рис. 14. График изменения термальной аномалии на вулкане Карымский в 2004 г. Данные Аляскинской вулканологической обсерватории и лаборатории ИСВА КФ ГС РАН. Данные со спутников NOAA16 и NOAA17 предоставлены КЦСМ.

При отсутствии визуальных наблюдений появление и рост термальной аномалии является единственным доказательством возможного извержения горячего магматического

материала в виде лавового потока или лавины. Увеличение аномалии до 4-7 пикселей обычно сопровождается сход лавового потока. Поэтому можно сделать предположение, что несколько раз в течение года, возможно, сошли лавовые потоки. Но для однозначной корреляции сейсмичности с вулканической активностью необходимы видео или фотонаблюдения с точной привязкой ко времени.

В Авачинскую группу вулканов входят два действующих вулкана: Авачинский и Корякский. Из всех вулканов они представляют наибольшую потенциальную опасность, так как расположены в 30 км от наиболее густонаселенных городов Камчатки: Петропавловск-Камчатского и Елизово. Вулкан Авачинский - координаты вершины: 53°15' с.ш., 158°50' в.д. Абсолютная высота вулкана - 2741 м, диаметр кратера - около 350 м. Вулкан Корякский - координаты вершины: 53°19' с.ш., 158°43' в.д. Абсолютная высота вулкана - 3456 м. В 2004 г. никакой заметной сейсмической или вулканической активности на вулканах Авачинский и Корякский отмечено не было.

Горелый - координаты вершины: 52°33' с.ш., 158°02' в.д. Абсолютная высота центрального конуса 1829 м. Ближайшая телеметрическая станция (GRL) расположена в 4-х км от кратера вулкана. Минимальный уровень регистрации по ближайшей станции соответствует классу землетрясений 2.2. Уровень надежной регистрации по трем станциям соответствует классу землетрясений 6.0. В 2004 г. каких-либо заметных проявлений сейсмической или вулканической активности, а также термальных аномалий не зафиксировано.

Мутновский - координаты вершины: 52°27' с.ш., 158°12' в.д. Абсолютная высота вулкана 2323 м. Ближайшая телеметрическая станция (GRL) расположена в 12 км от кратера вулкана. Минимальный уровень регистрируемой сейсмичности по ближайшей станции, соответствует классу землетрясений 3.4. Уровень надежной регистрации по трем станциям соответствует классу землетрясений 6.0. В 2004 г. наблюдалась фоновая сейсмичность. Детальное исследование инфракрасных снимков со спутников NOAA16 и NOAA17 выявило появление на вулкане Мутновский слабой термальной аномалии 5-6 ноября 2004 г.

Список литературы

1. *Сенюков С.Л.* «Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений» // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 2004. С. 279-291.
2. *Токарев П.И.* Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.